

# 흡·배기 밸브의 밀착이상이 엔진연소특성에 미치는 영향

손성만<sup>#</sup>, 박경석<sup>\*</sup>

## The Effects of an Abnormal Adjusting Intake and Exhaust Valves on the Combustion Characteristics of SI Engine

Sung Man Son<sup>#</sup>, Kyoung Suk Park<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

The unbalance of the power output, noise, and vibration is happened by the disproportionate pressure variation in the cylinder. For this reason, decrease of the pressure in the cylinder and increase of the residual gas effect on the engine performance. If the abnormal combustion is continued, the crack would be occurred in the engine block. And it could be broken down. For the normal combustion of the SI engine, it is important to supply the balanced mixture by each operating condition.

In this study, it was tested the combustion characteristics in the cylinder according to the abnormal adjusting of intake & exhaust valve. This test is willing to set a basic data's analysis for developing an automotive diagnosis system by analyzing the pressure in the cylinder, the output signal of MAP sensor, the exhaust gas, etc.

**Key Words** : Abnormal combustion(이상연소), Combustion characteristics(연소특성), MAP sensor(맵센서), Intake valve(흡기밸브), Exhaust valve(배기밸브)

### 1. 서론

엔진의 연소특성을 해석하기 위해서는 실린더 내의 연소 압력에 의한 압력변동을 해석하는 것이 일반적이다. 연소압력 상승은 연소실에 공급된 혼합기가 연소하여 발생하는 열량으로부터, 연소실 내벽에 의해 냉각되는 열량과 불완전 연소로 배출되는 HC와 같이 버려지는 연료에 의한 열량의 합

을 제외한 분량으로 나타난다. 현재 자동차에 사용되고 있는 엔진은 흡입공기량센서, O<sub>2</sub>센서, 전자제어 인젝트 등의 각종센서와 액추에이터를 갖춘 ECU의 피드백 제어 시스템에 의해 정상적인 연소가 이루어지고 있다. SI 기관의 연소가 정상적으로 이뤄지기 위해서는 각 운전상태에 따라 요구되는 균일한 혼합기의 공급이 절대적으로 필요하고, 이에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.<sup>1,4</sup> 각 실린더 내에 공급되는 불균일한 혼합기의 분배, 연소의 시

접수일: 2004년 10월 29일; 게재승인일: 2005년 1월 21일  
# 교신저자: 경희대학교 기계공학과  
E-mail : thermal@khu.ac.kr Tel. (031) 201-2871  
\* 경희대학교 테크노공학대학

간 지연특성 및 공연비의 변동 등은 비정상연소 현상을 초래함과 동시에 실린더 내의 압력변동에 의한 출력의 불균일, 소음 및 진동의 원인이 되고 있다.<sup>5-8</sup> 또한, 이와 같은 원인으로 인해 흡입압력이 하강하면 실린더 내 연소압력 감소 및 잔류가스의 증가로 유해 물질이 증가하게 되고 엔진 성능에 악영향을 미치게 된다. 이러한 비정상적인 연소가 계속되면 기관의 열손실이 증가하게 되고 심한 경우 엔진 블록에 균열이 생겨 기관이 파손될 우려가 있다. 따라서 현재 사용하고 있는 전자제어 시스템의 연소제어에 있어서 비정상적인 연소의 요인으로 발생할 수 있는 엔진시스템의 비정상적인 원인을 정밀하고 정확하게 진단할 수 있다면, 엔진의 정상적인 운전상태를 지속적으로 유지할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 가솔린기관의 흡입압력 변동에 의한 정상상태와 비정상적인 상태를 판단하여 연소진단시스템 설계에 필요한 기초 자료를 설정하는데 목적을 두고, 엔진 구동 시에 흡배기밸브의 밀착간극의 변화에 따라 맵센서의 출력신호, 실린더 내의 연소특성현상을 고찰하였다.

**2. 실험장치 및 방법**

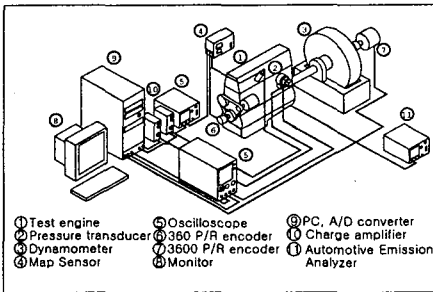


Fig. 1 Experimental setup for the engine dynamometer

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치도를 나타낸 것이다. 실험용 기관은 Table 1에 표시된 제원을 가진 수냉식 4기통 12밸브 스파크 점화 기관이다. 이 기관은 전자제어 연료분사장치가 장착되어 있고, 기관 회전속도 신호, 수온 센서, 트로틀 포지션 센서, 흡기온도 센서, 흡입공기 유량계 등에서 보내온 신호를 ECU가 처리하여 연료 분사량을 조절함

으로써 공연비를 이론공연비로 자동 조정한다. 트로틀 밸브는 직류모터를 이용하여 개폐시키고 트로틀 포지션 센서에서 나오는 신호로부터 개도량을 확인할 수 있다.

Table 1 Specifications of experimental engine

Item	Specifications
Engine	Water cooled 4stroke 4cylinder Spark ignition engine Port fuel injection
Bore x Stroke (mm*mm)	75.5 x 83.5
Displacement (cc)	1,495
Position of valve	Over head valve with single cam shaft 3 calves/cylinder
Compression ratio	10.0 : 1
Maximum torque (kgm/rpm)	14.5 / 4000
Maximum output (PS/rpm)	102 / 5500
Spark timing	10°BTDC @850 RPM idle

실린더내의 연소속도는 매우 고속으로 일어나므로 짧은 시간 내에 필요한 양의 데이터를 얻기 위해서는 초고속의 응답성을 가진 압력변환기와 신호처리장치가 필요하다. 본 연구에서는 컴퓨터와 A/D 변환기를 사용하여 압력변환기의 신호를 크랭크각 변화에 대하여 취득하였다. 연소압력 측정 센서는 압력에 대응하는 전하를 발생하는 전외소자를 이용하고 있다.

압력 센서 및 변환기는 특수 가공된 어댑터를 통해 4번 실린더에 Fig. 2와 같이 장착하여 연소압력을 측정하였다. 압력변환기는 연소실과 압력 센서 전면부 사이의 통로 형상에 따라 정상 연소 시에도 압력 맥동이 발생한다. 따라서 실린더 내 압력의 변동을 측정하기 위하여 압력의 맥동이 발생되지 않도록 압력 통로를 제작하여 센서를 장착하여야 한다. 그리고 센서는 평면상에서 연소실 중심으로부터 반지름 방향과 일치하고 측면 상에서는 연소실 벽면에 대하여 수직에 가깝도록 설치하여야 한다. 이를 위하여 플러쉬 마운트 형태로 압력 센서를 장착하였다. 압력 센서는 Kistler사의 6001형을 사용하였으며, 센서에서 나오는 신호를 증폭하기 위하여 5011 전하 증폭기를 사용하였다. 압력 센서는 고온의 연소가스에 노출되어 있기 때문에 온도에 따라 출력 전압의 차이가 발생하므로 일정한 온도를 유지하기 위하여 어댑터에 냉각장치를 구성하

고 상온의 물을 순환시켜 냉각하였다.

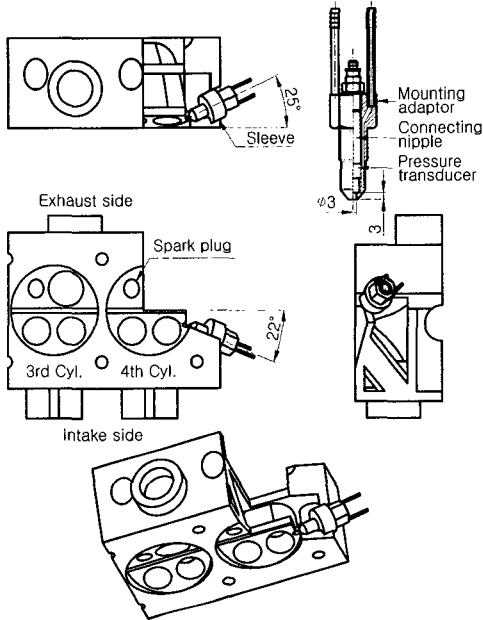


Fig. 2 Setting position of flush mounting type pressure transducer

배기 분석 장치는 CO, HC의 경우 비분산적외선법(NDIR:Non-Dispersive Infrared Analysis Method)방식의 가스 분석기를 사용하였다.

기관의 운전시간에 대하여 TPS의 출력 신호에 따라 맵센서의 출력전압, 실린더 내의 압력, 배기가스의 온도 및 배기가스의 농도를 측정하였다. 정상적인 연소 상태와 비정상적인 연소 상태를 만들어 주기 위해 실린더 내 흡·배기 밸브 간극의 밀착 변화를 변수로 취하였다.

### 3. 밸브밀착에 따른 연소해석

정상상태와 이상상태의 연소현상을 분석하기 위하여 압력센서가 장착되어있는 4번 실린더의 흡·배기 밸브를 밀착시켜 밸브간극변화에 따라 실린더 내의 압력 변동을 확인하였다. 밸브 간극을 조정하기 위하여 기존에 설치되어있는 유압식타입의 로커 암을 직접조절이 가능한 기계식으로 장착하였다. 기계식 로커암의 조절나사는 pitch 0.75인 6mm나사로 되어있다. 정상상태의 밸브 간극은 흡기밸브는

0.07mm이고, 배기밸브는 0.17mm이다. 이 정상상태에서 밸브를 밀착시켜 감에 따라 실린더가 폭발이 일어나는 최고점까지 밸브의 간극을 변화 시켜가면서 실린더 내의 압력을 측정하였다. 그리고 밸브를 0.4mm이상 조정하였을 경우 실린더 내에서 폭발이 일어나지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 밸브의 간극 조정에 의하여 폭발이 이루어지는 한계점을 찾기 위하여 기관의 운전상태를 1000rpm, TPS 출력전압은 0.3V에서 실린더 내의 압력을 측정하였으며, 한계 폭발점의 밸브 리프트를 설정하였다. 따라서 본 실험에서의 밸브 밀착 정도는 최저의 연소압력이 나타나는 0.375mm인 지점을 선택하였다. 이때 흡기밸브는 -0.305mm, 배기밸브는 -0.205mm이다.

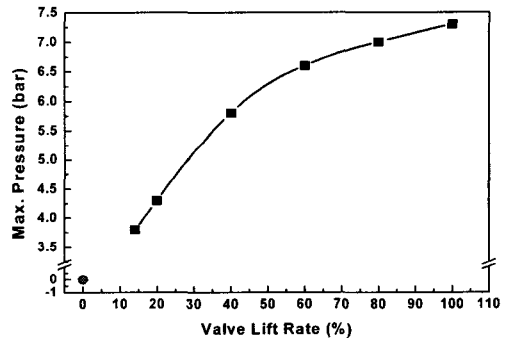


Fig. 3 Max. pressure according to a valve lift rate

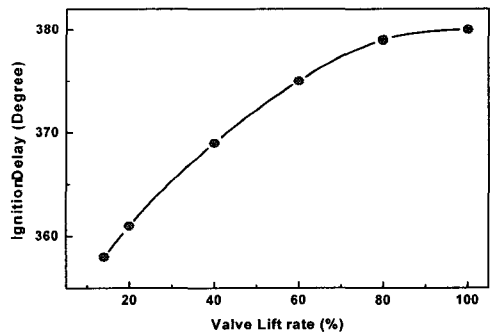


Fig. 4 Ignition delay timing according to a valve lift rate at rpm=1000, TPS=0.3

Fig. 3은 흡·배기밸브의 밀착에 따라 실린더 내에서 연소가 가능한 영역대를 백분율하여 valve lift

rate로 표시하였으며, 이에 따라 실린더 내의 연소 압력을 나타냈다. 밀착 정도에 따라 정상상태의 초기압력 7bar이상에서 밸브의 최고점에 도달해서는 3.6bar정도 나오는 것을 확인 하였고, 밸브 간극이 4mm이상이었을 때는 실린더 내 폭발이 일어나지 않는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 4는 밸브 밀착에 따라 연소실내 최고연소 폭발압력에 도달한 시간을 나타낸 것이다. 이는 밸브간극을 밀착하여 정상상태에서 최고점으로 갈수록 실린더 내의 최고 압력에 도달하는 시간이 늦게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

본 실험은 기관의 흡배기 밸브의 밀착이상에 따라 정상과 이상상태를 비교하였으며 각각의 상태를 트로틀 밸브의 개도량에 따라 실린더 내의 압력, 맵센서의 출력신호, 유해배출가스의 CO, HC등을 측정하였다. 그리고 트로틀 밸브 개도량을 정확하게 조정하기위하여 트로틀 포지션 센서에서 나오는 출력신호로 제어하였다.

##### 4.1 맵센서의 출력특성

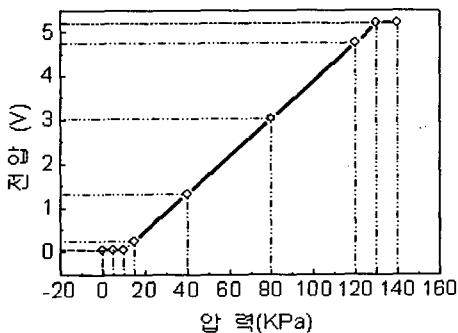


Fig. 5 Variation of MAP sensor voltage with intake pressure

맵센서는 흡입 공기량을 측정하는 센서로 흡기 매니폴드의 서지탱크에 장착되어 흡입 공기압을 전압의 형태로 측정하는 센서이다. 실리콘 다이어프램의 양단에 한쪽은 대기압에, 한쪽은 흡기 매니폴드의 서지탱크 내부에 연결된다. 그리고 엔진이 동작하게 되면 실린더 내의 부압이 형성되고 대기

압은 일정하므로 압력차가 생기게 된다. 이 출력신호는 아날로그 형태의 신호로 나오기 때문에 ECU에서는 A/D변환이 필요하다. Fig. 5는 맵센서가 압력에 따른 전압의 출력으로 나오는 값을 나타낸 것이다.

Fig. 6은 트로틀 밸브 개도에 따라 맵센서의 출력신호를 나타낸 것이다. 정상적인 밸브간격 0.070mm인 상태보다 이상적인 상태인 밸브간격 0.375mm인 경우가 실린더내의 압력 손실로 인해 더 많은 공기를 필요로 하는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 트로틀 밸브가 열리는 0.3V인 지점부터 1.0 사이에서는 급격히 압력이 증가하는 것을 볼 수 있고, 2.0V이후에는 이상과 정상 상태의 차이가 거의 같음을 볼 수 있다.

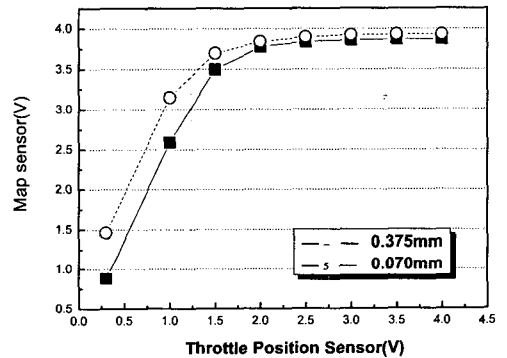


Fig. 6 Effect of output signals of MAP sensor according to throttle valve output signal

##### 4.2 밸브 밀착에 따른 연소 및 배출가스 특성

Fig. 7~Fig. 10은 압력센서가 장착되어있는 기관의 4번 실린더 내에 각각의 운전조건에서 TPS의 출력신호가 각각 0.3V와 2V로 출력될 때 이상과 정상상태에서의 압력을 측정한 것이다. 실린더 내의 최고압력은 정상과 이상상태에서 현저히 차이가 나며, 엔진 회전수가 높고 트로틀 포지션 센서의 신호가 클수록 각각의 조건에서 연소실내의 최고 압력은 2bar에서 40bar정도의 차이를 나는 것을 알 수 있다. TPS가 0.3V에서는 엔진 회전수에 관계없이 실린더 내 압력이 일정한 것을 알 수 있다.

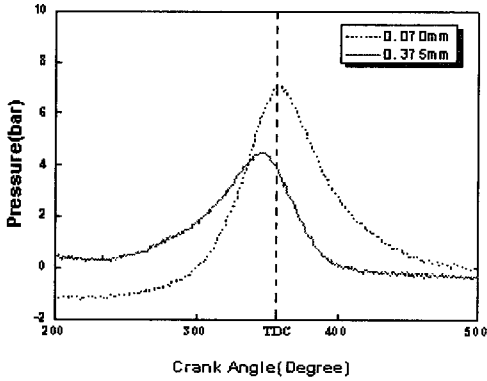


Fig. 7 Cylinder pressure for crank angle at rpm=1000, TPS=0.3V

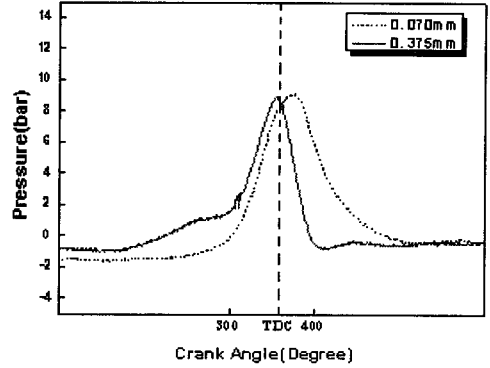


Fig. 9 Cylinder pressure for crank angle at rpm=2000, TPS=0.3V

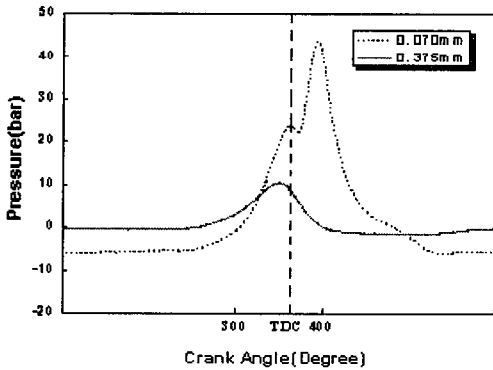


Fig. 8 Cylinder pressure for crank angle at rpm=1000 TPS=2.0V

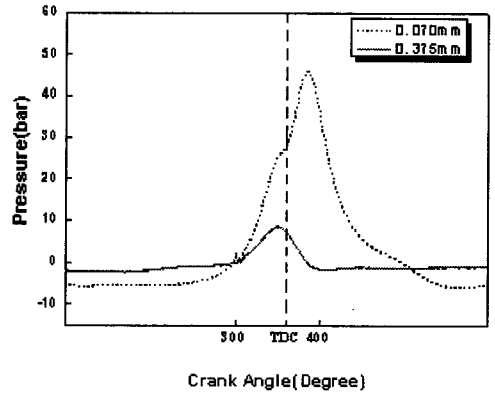


Fig. 10 Cylinder pressure for crank angle at rpm=2000, TPS=2.0V

Fig. 11은 TPS는 2.0V, 2000rpm상태에서 크랭크 각도에 대해 실린더 내의 압력 상승률을 나타낸 것이다. 정상상태에서는 이상상태에 비해 압력상승률이 안정된 상승률을 보이고 있으나 이상상태에서는 밸브가 밀착되어있는 상태이기 때문에 실린더내의 압력 하강에 의해 폭발행정 시 폭발하는 실린더 최고 압력이 정상에 비해 낮게 나는 것을 쉽게 확인할 수 있다.

Fig. 12는 트로틀 센서의 출력이 0.3V일 때, 기관의 회전수가 2000rpm에서 크랭크 각에 대해 실린더의 질량연소율을 나타낸 것이다. 흡, 배기밸브를 0.070mm로 밀착된 정상상태에서보다 0.375mm

로 밸브를 덜 밀착한 비정상상태에서 실린더 내 가스 누설에 의한 압력 하강으로 연소 지연과 불완전 연소가 일어나는 것을 확인하였다.

Fig. 13~Fig. 14는 엔진의 배기가스 중 CO, HC의 농도를 측정된 것이다. CO가스는 트로틀포지션 센서의 신호가 1.0V까지 급격한 증가 후 일정하게 배출되는 것을 볼 수 있는데 정상상태에 비해서 이상적인 때가 2배정도 많이 배출되는 것을 확인할 수 있다. HC 가스는 정상적인 경우엔 100ppm 이하로 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있지만 이상적인 경우에는 고출력으로 될수록 가스의 농도가 4~6배 이상 배출되는 것을 확인할 수 있다.

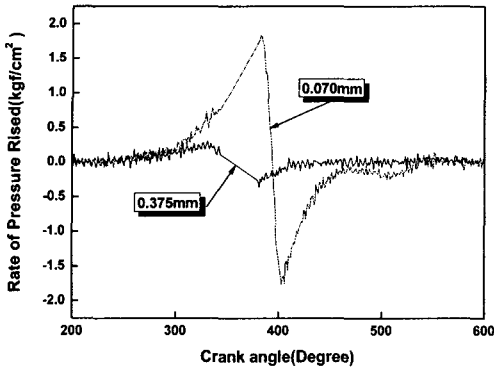


Fig. 11 Rate of pressure rise-crank angle diagram at rpm=2000, TPS=2.0V

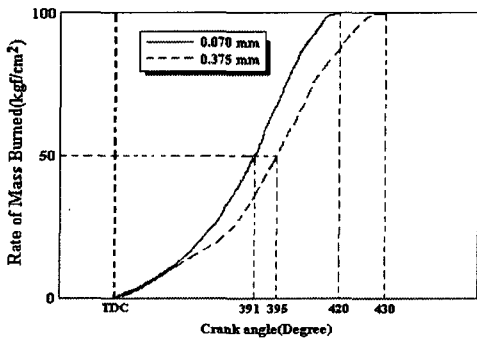


Fig. 12 Definition of mass burned fraction-crank angle diagram

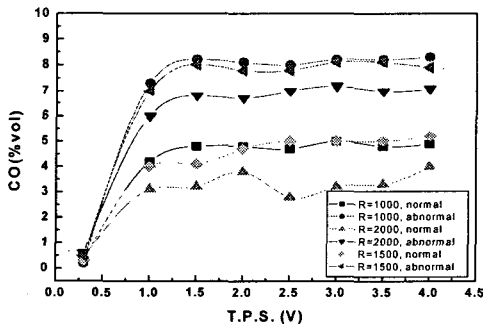


Fig. 13 Effect of CO emission for TPS output signal in exhaust manifold system

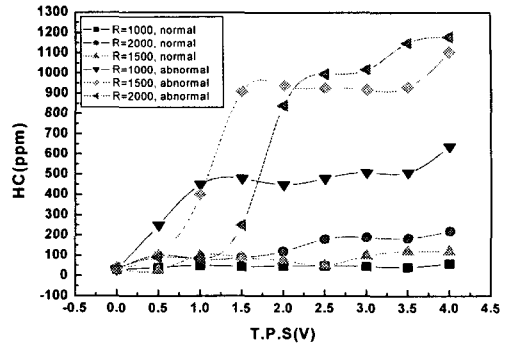


Fig. 14 Effect of HC emission for TPS output signal in exhaust manifold system

## 5. 결론

본 연구에서는 가솔린기관의 정상적인 연소상태와 이상적인 연소상태를 파악하기 위해서 흡배기 밸브의 간격을 조정하여 흡기 제어센서의 압력변동을 측정하였다. 특히 각각의 엔진 회전수에서 트로틀 포지션 센서의 출력신호에 따라 실린더 내의 압력, 맵센서의 출력 전압, 배기가스의 농도 등을 분석하여 이상상태에서의 연소상태를 분석하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 엔진의 정상연소가 이뤄지는 흡배기 밸브 밀착지점의 범위를 확인하였다.
- 2) 밸브간격이 이상적인 경우와 정상적인 기관의 실린더와 흡기관 내에 압력차이를 비교하고, 연소가 불완전상태 연소특성을 해석하였다.
- 3) 흡배기 밸브 밀착이상의 엔진 배기 시스템에서 나오는 유해가스, CO와 HC의 농도는 엔진 회전속도에 따라 최고 6배 이상 배출되는 것을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 경기도 산학연 컨소시엄 사업에 의해 일부 지원 받았으며, 경희대학교 국제 교류센터의 지원에 의해 해외 파견 연구 교수로 있으며 이룩한 것으로 관계 기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Kim, M. S., Jin, S. H., Park, K. S., Lee, Y. G., "Effect of Non-Uniform Mixture on the 4 Cylinder S.I. Engine Performance," J. of the KSAE, Vol. 2, No. 4, pp. 72-79, 1994.
2. Chung, J. W., Lee, K. H., Kim, W. T., "A Study on the Steady Intake Flow Characteristics of the Intake 3-valve Cylinder Head," J. of the KSME, Vol. 24, No. 6, pp. 880-885, 2000.
3. Shayler, P. J., Jones, S. T., Horn, G., Eade, D., "Characterization of DISI Emissions and Fuel Economy in Homogeneous and Stratified Charge Modes of Operation," SAE Paper, No. 2001-01-3671, 2001.
4. Koch, T., Schanzlin, K., Boulouchos, K., "Characterization and Phenomenological Modeling of Mixture Formation and Combustion in a Direct Injection Spark Ignition Engine," SAE Paper, No. 2002-01-1138, 2002.
5. Limata, D. R., Hurt, R. F., Deller, R. W., Hull, W. L., "Effect of Mixture Distribution on Exhaust Emissions as Indicated by Engine Data and the Hydraulic Analogy," SAE Trans, 710618, 1971.
6. Sawa, N., Sawa, M., "On the Effect of the Pressure Wave on the Fuel Flow Amount in a Small Two-Stroke Cylinder Gasoline Engine," The Transcript from the Memoirs of the Muroran Institute of Technology, Vol. 5, No. 2, 1966.
7. Kim, C. E., Kim, Y. S., Park, S. K., "A numerical study on the flow characteristics in cylinder," J. of the KSPE, Vol. 7, No. 1, pp. 28-36, 1990.
8. Ohm, I. Y., Jeong, K. S., Jeung, I. S., "Fuel Behavior in the Cylinder during the Intake Process," J. of the KSAE, Vol. 7, No. 4, pp. 54-59, 1999.